

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



INSTITUTO DE FÍSICA  
LICENCIATURA EM FÍSICA

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

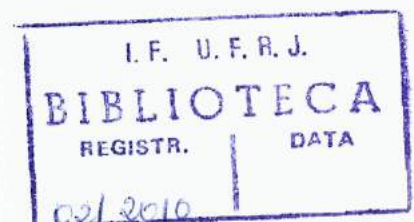
# Construção e análise de um circuito ôhmico com material alternativo

Aluno: Vitor Ribeiro de Souza

Orientador: Prof. Vitorvani Soares

02/2010

2010/2



## Construção e análise de um circuito ôhmico com material alternativo

## Ficha catalográfica

De Souza, Vitor Ribeiro

Construção e análise de um circuito ôhmico com material alternativo, Vitor Ribeiro de Souza —  
Rio de Janeiro: Projeto de Instrumentação para o Ensino de física — Instituto de física/UFRJ, 2010.

1. Circuito elétrico 2. Lei de Ohm. 3. Bateria. 4. Tensão elétrica.
5. Ciência — Ensino Médio. 6. Física clássica.

I. Título

Dedico este trabalho a todos os profissionais da área de Educação, os verdadeiros heróis deste país.

Agradeço,

à Deus pelo dom da vida e por todos os dons que dela advém;

à minha família, por ter sido sempre o meu porto seguro;

à minha grande amiga e afilhada Danielli Queiroz, pela amizade, e por todos os bons momentos vividos durante a graduação e mesmo depois dela;

ao meu orientador nesta monografia, Professor Vitorvani Soares pela partilha dos seus conhecimentos, por seus valiosos conselhos e pela paciência diante das minhas muitas dúvidas;

à Banca examinadora, pela disponibilidade para ler e avaliar esta monografia;

à todos os amigos, da UFRJ, da Paróquia Santo Antônio da Prata e da Escola Municipal Genair Ramos Gabriel, que direta ou indiretamente ajudaram na confecção deste trabalho.

## Resumo

Neste trabalho, apresentamos as etapas de construção de um circuito ôhmico com material alternativo. O circuito proposto é constituído por uma bateria de limão, placas de cobre e zinco e com um material resistivo pintado com grafite de lápis.

Durante a construção e análise deste circuito, observamos o comportamento da DDP na fonte e nos resistores e nos deparamos com alguns comportamentos singulares. Na busca por respostas para estes comportamentos, descobrimos a existência de uma resistência interna da fonte. Utilizando dois experimentos simples, determinamos o valor desta resistência interna.

Este trabalho se insere em uma proposta pedagógica mais ampla envolvendo o ensino de conceitos iniciais de um circuito elétrico tais como o gerador de corrente elétrica, a corrente elétrica, a resistência elétrica do circuito e a resistência elétrica do gerador.

Abordamos também alguns aspectos didáticos relativos ao ensino de física e a inserção de atividades experimentais nas práticas pedagógicas. Realizamos ainda, uma breve abordagem histórica sobre o desenvolvimento da teoria elétrica e dos circuitos elétricos.



# Índice

<i>Resumo</i> .....	6
<i>1. Introdução</i> .....	8
<i>2. Aspectos didáticos</i> .....	10
2.1 O papel do professor e da avaliação na aprendizagem .....	10
2.2 A aplicação dos PCN's no ensino de Física .....	12
<i>3. Aspectos históricos</i> .....	14
3.1 De Magnete .....	14
3.2 A garrafa de Leyden.....	15
3.3 Galvani e Volta .....	17
3.4 Ohm .....	20
<i>4. A fonte alternativa</i> .....	24
<i>5. O Resistor alternativo</i> .....	28
<i>6. Estudo do circuito elétrico alternativo</i> .....	30
6.1 Introdução.....	30
6.2 Experimento 1 .....	33
6.3 Experimento 2 .....	35
6.4 Análise dos experimentos.....	39
<i>7. Considerações Finais</i> .....	45
<i>Referências</i> .....	46

## 1. Introdução

Em nossa vida cotidiana, estamos constantemente envolvidos com o uso de algum tipo de aparelho eletro-eletrônico. Hoje não é possível imaginar nossa vida sem computadores, aparelhos de TV, máquinas de lavar ou micro-ondas. Todos esses aparelhos têm em comum o fato de possuírem algum tipo de circuito elétrico no qual se baseia seu funcionamento.

Durante os séculos XVIII e XIX, foram descobertos e analisados vários princípios físicos como por exemplo, corrente elétrica, voltagem, força eletromagnética e resistência elétrica. Graças ao trabalho de Coulomb (1736-1806), Volta (1745-1827), Oersted (1777-1851), Ohm (1787-1854), Faraday (1791-1867) entre outros, foi possível o desenvolvimento da ciência nas áreas de eletricidade e eletromagnetismo até o ponto em que nos encontramos hoje. De modo particular, podemos dizer que foi graças ao trabalho desenvolvido por George Simon Ohm (1787-1854) que se tornou possível estabelecer as relações entre as grandezas físicas que regem o funcionamento dos circuitos elétricos.

Em aulas de eletrodinâmica, o estudo dos circuitos elétricos é um dos principais tópicos abordados. No entanto, o que se observa, é que, de modo geral tal estudo é realizado de maneira teórica e matematizada. Desta forma o conteúdo é apresentado aos estudantes como algo distante da realidade em que vivem.

Buscando mudar esta realidade, alguns autores têm apresentado trabalhos inserindo principalmente atividades experimentais no ensino de eletrodinâmica e circuitos elétricos. Por exemplo, no ano de 2006, um modelo de gerador elétrico utilizando limões e placas metálicas para fins didáticos foi objeto de estudo de Daniel J. Swartling e Charlotte Morgan do departamento de Química do Tennessee Technological University (1). Em um artigo publicado no Caderno Brasileiro de ensino de Física, João Bernardes da Rocha Filho et al, propõe o uso de resistores confeccionados com grafite e papel como material didático no estudo de resistores associados (2). Um estudo experimental sobre as propriedades dos circuitos elétricos foi apresentado por Y. Shadmi, e E. J. Wenham em artigo publicado na revista Physics Education (3).

Nosso trabalho apresenta a construção e análise de um circuito elétrico ôhmico e se insere em uma proposta pedagógica que se baseia no ensino de conceitos de eletrodinâmica utilizando um circuito elétrico simples e de material alternativo. Durante o processo de construção deste material, surgem alguns questionamentos; será através da busca por respostas para essas dúvidas que os conceitos serão apresentados e estudados.



No próximo capítulo, analisamos os aspectos pedagógicos e a importância das orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio [PCNEM] (4) no ensino de física. Em seguida, no capítulo 3, fazemos um breve histórico sobre o desenvolvimento da teoria elétrica e dos circuitos elétricos. Nos capítulos 4 e 5, apresentamos as principais características dos elementos que compõem o nosso circuito alternativo (respectivamente, a fonte e o resistor). Os experimentos e as considerações sobre os resultados obtidos são tratados no capítulo 6. Por fim, apresentamos nossas considerações finais na última seção.

Optamos por tal metodologia por acreditar que este seja um caminho mais interessante e didático de se obter os resultados pretendidos. A abordagem e o material propostos podem ser utilizados em demonstrações ou mesmo construídos pelos alunos em uma atividade prática. Caberá ao professor encontrar a maneira mais criativa e eficaz de utilizar o material apresentado neste trabalho.

## 2. Aspectos didáticos

### 2.1 O papel do professor e da avaliação na aprendizagem

Os professores além de possuírem a função de transmitir conteúdos aos alunos, também tem o papel de integrá-los na sociedade, fazendo-os cidadãos participativos e críticos. Devido à revolução da informática e das telecomunicações, e às transformações sociais, o professor tem que renovar a forma de ensinar para que esta se enquadre nas novas exigências da atualidade e, deste modo, preparar os nossos alunos para enfrentarem as dificuldades que certamente estarão presentes no seu dia-a-dia e em todos os campos de sua vida. Mais uma vez, lembramos o que nos diz os PCNEM:

*“A escola, ao tomar para si o objetivo de formar cidadãos capazes de atuar com competência e dignidade na sociedade, buscará eleger, como objeto de ensino, conteúdos que estejam em consonância com as questões sociais que marcam cada momento histórico, cuja aprendizagem e assimilação são as consideradas essenciais para que os alunos possam exercer seus direitos e deveres.” (4)*

Portanto, conforme orientação das nossas leis educacionais, o professor deve estimular o desenvolvimento da capacidade de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; ao professor cabe ainda o desenvolvimento da capacidade do aluno de aprender, criar, formular, ao invés de permitir a ele, aluno, o simples exercício de memorização.

Para haver sucesso nestes objetivos escolares, a avaliação deve estar dentro dos parâmetros desejáveis e deve testar a capacidade de raciocínio, interpretação e elaboração do aluno. O mais importante é desenvolver no aluno a capacidade de resolução de problemas relativos ao que lhe for apresentado. Citando uma vez mais os PCNEM:

*“Para tanto ainda é necessário que a instituição escolar garanta um conjunto de práticas planejadas com o propósito de contribuir para que os alunos se apropriem dos conteúdos de maneira crítica e construtiva. A escola, por ser uma instituição social com propósito explicitamente educativo, tem o compromisso de intervir efetivamente para promover o desenvolvimento e a socialização de seus alunos.” (4)*



Para aumentarmos a chance de sucesso nas avaliações e no aprendizado, muitas vezes se faz necessária uma diversificação nos métodos empregados como, por exemplo, a realização de trabalhos em grupo, pesquisas extraclasse e auto-avaliações. A avaliação, em particular, tem que se adequar aos novos tempos. É preciso atentar para a realidade de cada escola, os seus níveis socioeconômicos e culturais são fatores que podem pesar no aprendizado.

É importante dar prioridade a conteúdos que estimulem o raciocínio, fazendo despertar no aluno um desejo de aprender, pesquisar e entender os “porquês” do mundo que o cerca. Afinal, a característica mais valorizada de um bom profissional nos dias de hoje é justamente a capacidade de resolução dos problemas nas diversas situações que lhe são impostas no seu dia-a-dia.

A avaliação orienta o processo de ensino e aprendizagem, pois é através dela que podemos identificar os problemas e pontos positivos na formação do indivíduo. Mas também é lamentável admitir que nem sempre a avaliação tem esta função. Na grande maioria dos casos ela é um divisor de etapas e não um diagnóstico para mudanças no processo pedagógico.

*“Neste contexto a avaliação serve principalmente como diagnóstico de possíveis “doenças” escolares, identificando as dificuldades para que possam ser corrigidos os problemas, chegando ao grande objetivo: o conhecimento.” (4)*

Seria também importante minimizar a impressão que os alunos têm a respeito da avaliação. Muitos a entendem como um castigo, quando deveriam perceber que ela serve para reconhecer as suas necessidades e dificuldades, a fim de encontrar o melhor caminho para a aquisição do conhecimento por ele, aluno.

Esta suposta visão negativa sobre a avaliação está vinculada principalmente às provas e aos testes tradicionais aplicados em sala de aula, que representam para o aluno um momento de tensão e desconforto. Não se pode confundir o verdadeiro papel da avaliação que é o seu caráter pedagógico, de ajuste, de mudanças e de reconhecimento das fraquezas e também dos êxitos do estudante

*“A avaliação é considerada como elemento favorecedor da melhoria de qualidade da aprendizagem, deixando de funcionar como arma contra o aluno. É assumida como parte integrante e instrumento de auto-regulação do processo de ensino e aprendizagem, para que os objetivos propostos sejam atingidos. A avaliação diz respeito não só ao aluno, mas também ao professor e ao próprio sistema escolar.” (4)*

Tendo em vista estas sugestões, percebemos que nós, professores de física, podemos aplicar várias avaliações práticas interessantes, que aproximem os conteúdos da vivência do aluno, pois em nossa disciplina podemos utilizar diversos experimentos.

É de extrema importância levar em conta a vivência do aluno, e todos os vícios e virtudes que ele traz, pois através deste diagnóstico inicial podemos traçar um planejamento do processo, valorizando as individualidades e podendo ao mesmo tempo encontrar estratégias de aproximar os alunos, fazendo com que esta interação possa trazer o confronto de opiniões e conseqüentemente, autonomia de idéias e troca de conhecimento.

Ressalta-se ainda que nós, educadores, encontramos muitas dificuldades para realizar este diagnóstico tais como, por exemplo, salas cheias e, conseqüentemente, a falta de tempo para trabalhar com os alunos individualmente. Entretanto é necessário esforça-se, para tornar todo o processo agradável tanto para os alunos quanto para os professores. Em nossa opinião, é interessante estimular, principalmente, as tarefas em grupo, pois a integração dos alunos é fundamental para um bom aproveitamento.

Existem aqueles que possuem talentos individuais, que devem ser valorizados e trabalhados, e também dificuldades que devem ser descobertas e solucionadas, de acordo com o diagnóstico feito, pois cada indivíduo tem sua própria forma de interpretar cada fato. Em geral, é isto que encontramos numa sala de aula, uma diversidade de pensamentos, valores e condutas, o que não deixa de ser bom para o enriquecimento das idéias, inclusive do professor, que a cada dia modifica suas interpretações de determinados conteúdos, com o objetivo de melhor servir ao processo ensino-aprendizagem.

## **2.2 A aplicação dos PCN's no ensino de Física**

É notório nas salas de aula que muitos alunos têm uma facilidade maior de aprendizado quando a apresentação dos conteúdos de cada disciplina está associada com a realidade vivenciada pelo estudante e envolve as tecnologias e aplicações cotidianas de cada área.

*“Se a escola pretende estar em consonância com as demandas atuais da sociedade, é necessário que trate de questões que interferem na vida dos alunos e com as quais se vêem confrontados no seu dia-a-dia.” (4)*

É necessário também apresentar fatos históricos para que eles possam entender que, para a construção de uma teoria bem formulada em relação a um problema, pode-se levar 300 anos ou



mais e para que os aprendizes percebam que o desenvolvimento tecnológico foi resultado de muito esforço e empenho de mentes brilhantes e outras não tão brilhantes assim, até chegarmos ao que conhecemos atualmente.

Podemos enumerar algumas das competências básicas do ensino de física sugeridas pelos PCNEMs seguindo esta orientação:

- Conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança.

Além do descrito acima os PCNEM's nos indicam alguns procedimentos importantes para a transformação educacional desejada. Entre estas, a que mais se destaca é o envolvimento dos conteúdos com a experiência diária, com o intuito de tratar de coisas mais práticas e presentes na vida de cada um. Vejamos o que diz os PCNEM's:

*“Ao contrário, quando se toma como referência o “para que” ensinar Física, supõe-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante.” (4)*

Observamos que não basta apenas ensinar física, é preciso preparar e educando para aplicar esta disciplina em sua vida, pois será um instrumento que ele utilizará para a compreensão do mundo que o cerca, pois para se inserir no mercado de trabalho é inevitável lidar com tecnologia. Portanto é importante desenvolver todas as competências relacionadas com a física, para que este jovem possa usá-la como ferramenta para a sua vida cotidiana.

### 3. Aspectos históricos

Uma das características do estudo histórico da física é a busca pela relação entre o modelo de sociedade existente em determinada época e os principais avanços no campo da ciência. Acreditamos que ao valorizar o contexto social, cultural, político e econômico daquelas sociedades estas características da história da ciência possam ser um auxiliar valioso para a compreensão dos conceitos envolvidos no ensino de física. Neste capítulo, descreveremos de forma bastante simplificada uma parte da história do desenvolvimento da ciência da eletricidade. Faremos uma exposição das origens de tal ciência, até as descobertas realizadas por George Simon Ohm (1789-1854), que são as bases para o estudo dos circuitos elétricos.

#### 3.1 De Magnete

Nas civilizações antigas, já eram conhecidas as propriedades elétricas de alguns materiais. A palavra eletricidade deriva do vocábulo grego *elektron* (âmbar), como consequência da propriedade que tem essa substância de atrair partículas de pó ao ser atritada com fibras de lã. Nesta época, ainda não era conhecida a ligação entre eletricidade e magnetismo. Somente no século XIX desenvolveu-se uma perfeita relação entre os estudos desses fenômenos.

O magnetismo na Antiguidade era conhecido através do mineral magnetita. Suas propriedades e seu uso eram envolvidos por muito misticismo. Em 1600, em Londres, William Gilbert (1544-1603), publica um trabalho intitulado *De Magnete*. Neste trabalho, Gilbert inaugura uma nova metodologia no estudo do magnetismo, ao realizar um tratamento sistemático desses fenômenos. Em 1588, apenas 12 anos antes da publicação do *De Magnete*, a marinha real inglesa havia derrotado a poderosa armada espanhola, que perdeu metade de seus navios. Nessa batalha, que iniciou o ocaso da Espanha como potência hegemônica na Europa, foi decisivo o uso dos canhões de ferro, cuja técnica de manufatura era dominada pela Inglaterra. Talvez não tenha sido coincidência a publicação do livro de Gilbert na época em que a hegemonia inglesa dependia diretamente do domínio das técnicas de navegação e da metalurgia. Fenômenos elétricos também são abordados no livro, o que torna *De Magnete* o primeiro tratado sobre eletricidade de todos os tempos. Gilbert começa tratando das propriedades do âmbar: ele chama de elétricos todos os materiais que atraem palha quando atritados, os outros são não-elétricos. Essa divisão separa os fenômenos magnéticos dos elétricos, que até então eram tratados indistintamente como relacionados à atração. Gilbert, ao fazer tal distinção, fundou a ciência da eletricidade. Em *De*



*Magnete*, Gilbert explica que outros materiais, além do âmbar, adquiriam, quando atritados, a propriedade de atrair outros corpos, e chamou a força observada de força elétrica. Atribuiu essa eletrificação à existência de um "fluido" que, depois de removido de um corpo por fricção, deixava uma "emanação". Utilizando conceitos modernos, podemos entender "fluido" como carga e "emanação" como campo elétrico (5).



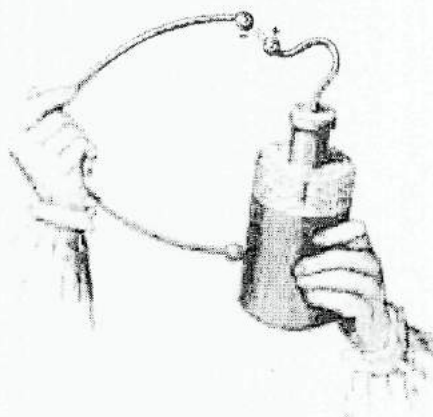
**Figura 1: William Gilbert (5)**

Após as experiências de Gilbert, o conhecimento do magnetismo avança pouco durante os próximos 200 anos. Somente no início do século XIX há um novo salto na compreensão dos fenômenos magnéticos, a partir da descoberta das relações entre eletricidade e magnetismo (5).

### **3.2 A garrafa de Leyden**

Nosso estudo avança agora para os séculos XVIII e XIX. Neste período ocorreram algumas das mais importantes descobertas no campo dos fenômenos elétricos.

Em 1729 Stephen Gray (1666-1736) observou que era capaz de transferir a carga elétrica de um bastão de vidro para uma bola de marfim pendurada por um barbante. Porém a transferência de carga não ocorria se a bola era pendurada por um fio metálico. Daí, ele concluiu que o metal "levava embora" o fluido. Gray concluiu também que a maior parte das substâncias podem ser classificadas como condutoras ou isolantes. Os condutores, como por exemplo, os metais e soluções iônicas, permitem o fluxo livre do fluido, enquanto que os isolantes, como por exemplo, a madeira, borracha, seda e vidro, não permitem o fluxo do fluido (6).



**Figura 2: Garrafa de Leyden (7)**



**Figura 3: Stephen Gray (8)**

Durante os séculos XVIII e XIX, conceitos como diferença de potencial e corrente elétrica foram sendo desenvolvidos aos poucos. Entretanto, um estudo mais sistemático das grandezas relacionadas aos fenômenos elétricos era dificultado por uma série de razões. Uma destas era a inexistência de uma fonte de corrente contínua. Não se sabia também se o condutor era apenas um caminho através do qual passa o "fluido" elétrico ou se exercia algum outro papel ativo. Além disso, não existiam instrumentos de medidas de grandezas elétricas. Os investigadores precisavam usar seu corpo, a língua ou os olhos como detetores (6).

Até 1800, a única forma para produzir uma corrente elétrica era por meio da descarga de uma garrafa de Leyden através de um condutor. Nos primórdios dos estudos da eletricidade não existiam



meios para armazenar a eletricidade por períodos prolongados. Mesmo mantendo um corpo carregado sobre bases muito bem isoladas as cargas tendiam a desaparecer rapidamente. A perda do fluido elétrico era atribuída a alguma forma de evaporação, de modo que se procurava uma forma de "condensar" a carga. Em 1745, E. G. von Kleist (1700-1748), um clérigo alemão, imaginou que guardando a água carregada numa garrafa seria possível reduzir a perda de carga. Ele colocou água numa garrafa de vidro, tampou-a com uma rolha e espetou um prego através da tampa, que entrava em contato com a água. Segurando a garrafa com uma das mãos, conectou o prego a uma máquina de carregar "fluido elétrico" por um certo tempo, antes de desconectá-lo. Sendo um amador von Kleist cometeu o erro de não colocar a garrafa sobre uma superfície isolante. Quando tocou no prego com a outra mão recebeu um tremendo choque. Mais tarde ele descobriu que a garrafa pode manter-se carregada por longos períodos, desde que não seja forçada (6).

Outras pessoas tentaram reproduzir o experimento, sem sucesso, pois procediam da forma usual, isolando a garrafa enquanto a carregavam. Três meses depois, em 1746, Pieter van Musschenbroek (1692-1761), um professor na Universidade de Leyden, percebeu que era necessário segurar a garrafa tanto durante a carga quanto durante a descarga. Durante o carregamento, o condutor interno carregado (a água) induz uma carga oposta no outro condutor (a mão), que fica conectado a terra por meio de um condutor (o corpo). O choque é sentido quando as cargas passam de uma mão para a outra. O processo de descarga é muito mais rápido que o de carga. Outros, logo perceberam que a água poderia ser substituída por bolinhas de chumbo. Mais tarde, as bolinhas de chumbo e a mão foram substituídas por folhas de metal cobrindo as superfícies interna e externa da garrafa de vidro. Posteriormente, a garrafa de vidro foi substituída por uma placa plana de vidro. Finalmente, o mais simples destes dispositivos passou a ser duas placas metálicas paralelas separadas por ar. Surgia assim o "condensador", hoje conhecido como capacitor (6).

### 3.3 Galvani e Volta

Em 1780, Luigi Galvani (1737-1798), professor de anatomia na Universidade de Bolonha (Itália), dirigiu seus esforços ao que se chamava de eletricidade animal, termo cunhado pelo médico francês Pierre Bertholon (1741-1800) que, juntamente com o italiano Giuseppe Gardini (1740-1816), defendia a existência de uma eletricidade própria dos corpos animais. Em janeiro de 1781, Galvani trabalhava com uma rã dissecada, cujos membros inferiores repousavam sobre uma mesa do seu laboratório, junto com alguns equipamentos, entre eles uma máquina eletrostática. Quando

um dos seus auxiliares tocou os nervos internos da perna da rã com a ponta de um bisturi, houve uma violenta contração dos músculos da perna do animal morto. A princípio, Galvani supôs que isso só aconteceria quando a máquina eletrostática estivesse funcionando e que o fenômeno da contração seria induzido pela descarga elétrica do equipamento ou quando uma garrafa de Leiden descarregasse suas cargas elétricas. Anos depois, Galvani investigou se as faíscas elétricas produzidas na atmosfera (raios) produziam o mesmo efeito. Para isso, tomou as pernas dissecadas de uma rã e conectou-as a um fio cuja ponta afixou ao ponto mais alto de sua casa; efetivamente, durante uma tempestade de final de tarde, comprovou que ocorreram contrações associadas a quatro relâmpagos emitidos na tempestade. Com o objetivo de verificar se a eletricidade presente na atmosfera de um dia calmo também poderia causar as contrações, em setembro de 1786 Galvani pendurou parte do corpo de uma rã dissecada, presa por um gancho metálico (provavelmente de bronze), em uma das grades de ferro existentes no balcão de sua casa. Cansado de esperar em vão, Galvani se aproximou da grade e começou a manipular as partes do corpo das rãs. Para sua surpresa, aconteceu um imprevisto: quando ele pressionou contra o gradil de ferro os ganchos metálicos presos nos nervos da rã, uma forte convulsão provocou a contração das pernas do animal morto (9).



**Figura 4: Luigi Galvani (10)**

Com ligeiras modificações, ele repetiu as experiências e concluiu que as contrações ocorriam sempre que um semi-arco metálico estabelecia contato entre os nervos das pernas dissecadas e os músculos, criando um circuito similar àquele que ocorre na jarra de Leyden. Após quase dez anos de pesquisas, as experiências de Galvani foram publicadas em 1791. Neste trabalho Galvani expôs sua conclusão: a eletricidade detectada tinha origem animal, isto é, os músculos armazenavam eletricidade do mesmo modo que uma jarra de Leyden, e os nervos conduziam essa eletricidade (9).



A pesquisa de Galvani foi amplamente divulgada para os principais centros científicos europeus da época, tendo também chegado às mãos do seu compatriota, Alessandro Giuseppe Anastasio Volta (1745-1827), professor de física na Universidade de Pávia. A exemplo de outros experimentadores, em 1792 Volta repetiu e confirmou as experiências de Galvani, expressando sua admiração pela grande descoberta da eletricidade animal. Entretanto, à medida que suas pesquisas sobre a questão progrediram nos anos seguintes, Volta aos poucos mudou de idéia e acabou propondo outra explicação para os fenômenos observados. Gradualmente Volta se deu conta de que um arco bimetalico era mais efetivo para produzir contrações que um arco monometalico. Isto fez com que Volta começasse a considerar a possibilidade de que a eletricidade tivesse uma origem externa e decorresse da diferença dos metais usados para fazer o arco; a rã reagiria a essa eletricidade metálica, como reagia a outras formas de eletricidade artificial externa (9).

Em experimentos com a própria língua, Volta observou que a sensação causada pelo arco bimetalico persistia enquanto os metais eram mantidos em contato com os tecidos. Isto fez com que ele pensasse que os metais diferentes eram eles próprios capazes de se comportar como “motores” de eletricidade (semelhante a máquinas elétricas) em vez de simples condutores: “é a diferença de metais que o faz” (9).

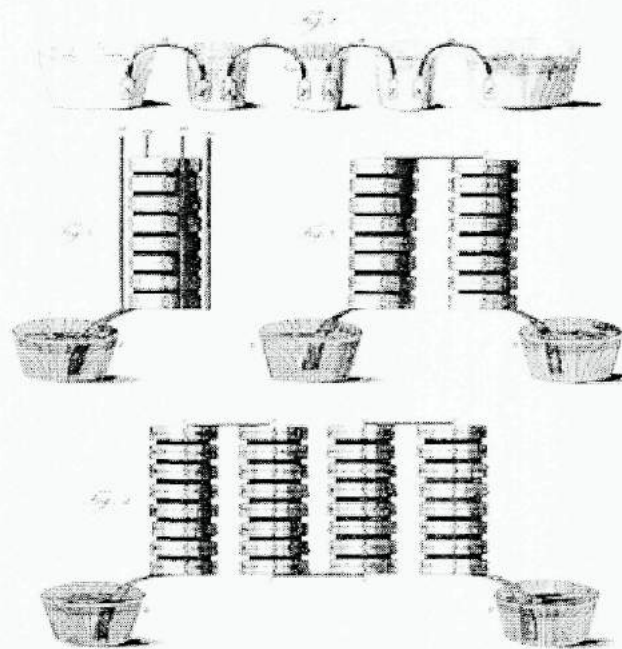
Mais tarde Volta aprofundaria esta visão, com a teoria dos contatos metálicos: o contato entre dois metais diferentes gera uma força eletromotiva. Ele classificou os metais levando em conta suas tendências a gerar eletricidade quando em contato recíproco (9).



**Figura 5: Alessandro Volta (11)**

Nessa época, Volta também estava procurando apresentar uma evidência decisiva em apoio ao poder dos metais de gerar eletricidade artificial. Como consequência lógica, surgiu a idéia de associar pares de metais sob a forma de placas sobrepostas de tal maneira que se tornasse possível a

obtenção de uma força eletromotriz de razoável magnitude, comparável à produzida pelas máquinas elétricas. Visando aumentar a força elétrica gerada por um único par bimetálico, ele decidiu empilhar de modo alternado diversos discos de dois metais diferentes, por exemplo, Zn | Ag | Zn | Ag | Zn | Ag. Observou, então, que quando os discos terminais eram do mesmo metal a tensão elétrica desaparecia; e quando eram diferentes, a tensão era independente do número de pares de discos. Finalmente, considerando a presença de fluidos animais nos experimentos de Galvani, Volta empilhou seus pares de discos metálicos separados por um pedaço de papelão umedecido com água ou com solução salina. Notou, então, que as tensões elétricas se somavam; estava inventada a pilha elétrica. Apesar de Volta ter realizado os seus experimentos em 1799, somente divulgou o seu invento em março de 1800. Em 1801, Volta foi convidado a ir a Paris para apresentar seu invento. Nesta ocasião, o Imperador Napoleão Bonaparte atribuiu-lhe uma medalha e em sua homenagem mandou doar à Escola Politécnica uma pilha com 600 discos (9).



**Figura 6: pilha de Volta (9)**

### 3.4 Ohm

O anúncio oficial da pilha de Alessandro Volta em junho de 1800, abriu as portas para investigações sobre a eletricidade metálica – fazendo referência a visão contrária de Volta em relação à eletricidade animal. O século XIX, transformado pelas revoluções Francesa e Industrial, apresenta uma integração entre as demandas industriais e as investigações científicas. As ciências



da eletricidade e magnetismo desenvolveram-se isoladamente, até que em 1820 Hans Christian Oersted (1777-1851) encontrou uma conexão entre os dois fenômenos. Enquanto preparava uma aula, Oersted observou que uma corrente elétrica passando por um condutor era capaz de causar a deflexão na agulha da bússola. Surgia assim a ciência do eletromagnetismo. Mais tarde, Oersted descobriu também que um ímã é capaz de gerar uma força sobre um fio conduzindo corrente (6).

O eletromagnetismo foi um dos campos de investigação científica que atravessou este período estimulando o setor produtivo. A galvanoplastia, o telégrafo e o setor de iluminação são apenas alguns exemplos de segmentos industriais que se desenvolveram nesta época.

Nomes como Humphry Davy (1778-1829), Peter Barlow (1776-1862) e Antoine Becquerel (1788-1829) realizavam estudos nesta área em condutividade elétrica.

Outro cientista interessado no assunto foi George Simon Ohm (1789-1854). Seu primeiro artigo tratando sobre o tema, publicado em 1825, tinha como objetivo encontrar uma relação entre o decréscimo da força eletromagnética exercida por um fio condutor de corrente e o comprimento deste fio. Utilizando um aparato experimental desenvolvido por ele mesmo, Ohm obteve uma série de dados. Com estes dados, ele encontrou (acredita-se que de maneira puramente empírica) a equação geral:

$$v = m \cdot \ln(1 + x/L). \quad (i)$$

Nesta equação,  $v$  representa a diminuição da força da corrente,  $x$  é o comprimento do fio em pés e  $L$  seria o comprimento equivalente de um condutor padrão. O coeficiente  $m$  seria uma função da força medida como condutor padrão, da espessura do fio, do valor de  $L$  e da “tensão elétrica da força”. Esta equação foi confirmada por Ohm em experimentos posteriores, passando então a considerá-la como a lei procurada (12).

Durante a realização de suas experiências, Ohm encontrou algumas dificuldades com seu aparato. Quando Ohm abria ou fechava o circuito, aparecia uma espécie de onda (o que hoje poderíamos chamar de pico de corrente) que Ohm acreditava ser devido a flutuações na pilha. Ohm se incomodava ainda com a perda da força elétrica da sua pilha (12).



**Figura 7: George Simon Ohm (13)**

Em 1826, Ohm publicou mais dois artigos onde tratava dos principais aspectos da sua teoria sobre a eletricidade galvânica. No primeiro deles, anunciava uma lei muito abrangente sobre a corrente elétrica, hoje considerada a base para a atual Lei de Ohm. No segundo artigo, Ohm buscou teorizar a associação da tensão elétrica aos circuitos galvânicos abertos e fechados (12).

O procedimento experimental utilizado no primeiro artigo citado era análogo ao que foi utilizado no artigo de 1825. A principal diferença está na fonte de tensão elétrica. Ohm aceitou as sugestões de Pogendorff (1796-1877) para utilizar uma célula termelétrica, descoberta por Thomas Seebeck (1770-1831) em 1822. Com isso ele evitou as flutuações nos resultados experimentais que obtinha. Ohm concluiu então que os resultados encontrados na série de experiências realizadas poderiam ser representados satisfatoriamente pela equação:

$$X = a / (b + x), \quad (ii)$$

na qual  $X$  representa a força da ação magnética, medida pela deflexão da agulha quando o condutor utilizado tem comprimento  $x$ . Os termos  $a$  e  $b$  são constantes dependentes da força de excitação e da resistência - ou condutividade - do resto do circuito (14). Obviamente, Ohm não associou de imediato as variáveis e constantes da sua equação, com a relação  $I = V / (R+r)$  que conhecemos hoje. Ao final de suas investigações, Ohm havia concluído que o fluxo elétrico no circuito galvânico é diretamente proporcional à diferença de potencial entre os extremos do circuito, a seção transversal do condutor e a condutividade específica do material pela qual a eletricidade viaja; e é inversamente proporcional ao comprimento do fio.



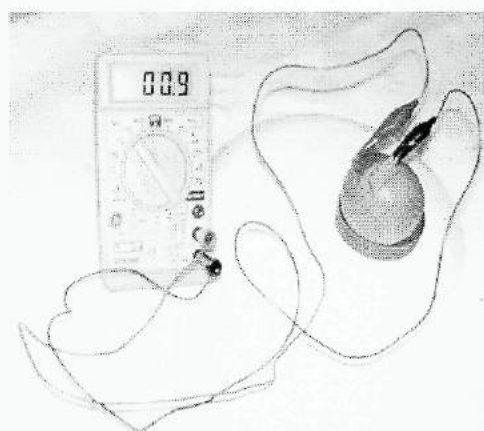
Somente mais de 30 anos após a publicação do trabalho de Ohm é que ocorreu a identificação conceitual e conversão dos termos da lei de Ohm e estas se transformassem nos termos atuais que conhecemos. Nos anos subseqüentes, os físicos desenvolveram e acumularam conhecimentos sobre os fenômenos elétricos.

## 4. A fonte alternativa

A fonte de tensão que propomos é confeccionada com limões e pequenas placas de cobre e zinco. Um gerador deste tipo tem seu funcionamento baseado na obtenção de uma diferença de potencial (DDP) entre as placas.

Tal processo é similar ao utilizado na fabricação das chamadas pilhas secas, que são comercializadas em larga escala e podem ser facilmente encontradas.

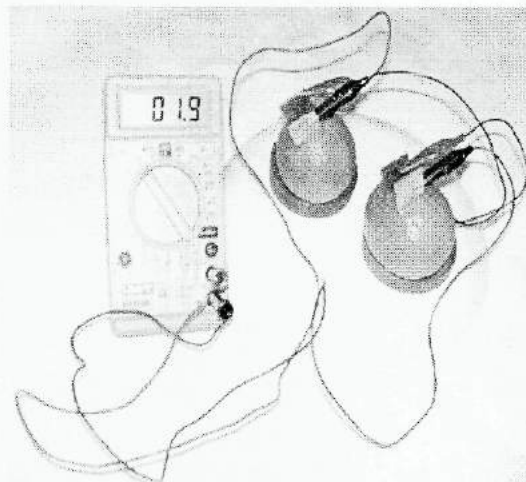
Construímos o gerador utilizando limões verdes de tamanho mediano e as placas de cobre e zinco (placas de latão revestidas de zinco) e que tem largura menor que o diâmetro dos limões. Encaixamos as placas até a metade no limão, e em lados opostos, paralelamente, com cerca de 1cm de distância entre as placas. A diferença de potencial observada foi da ordem de 1,0 Volt entre as placas.



**Figura 8: Voltímetro medindo a DDP de uma fonte alternativa com 1 limão**

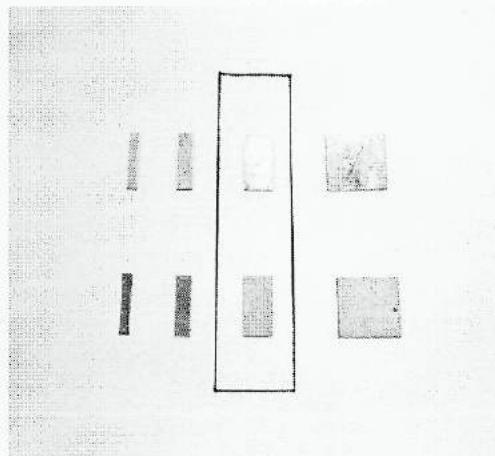
Observamos o funcionamento de uma associação de geradores em série quando ligamos os limões através de fios conectores. Neste caso medimos uma diferença de potencial que é a soma das voltagens de cada gerador. Já na associação em paralelo constatamos que a diferença de potencial medida é constante, isto é, referente apenas a um gerador.





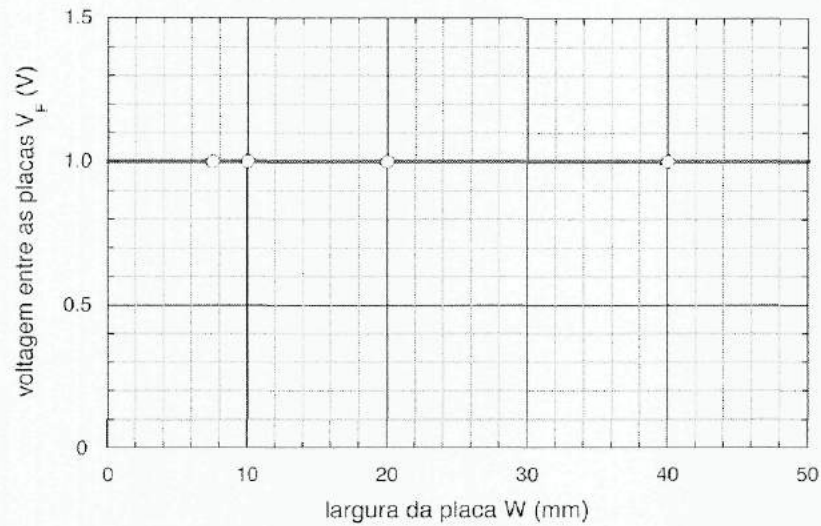
**Figura 9: Voltímetro medindo a DDP de geradores associados em série**

Verificamos as principais características físicas deste tipo de gerador, e qual a influência destas no valor da DDP encontrada. As características que observamos foram o tamanho das placas, a distância entre as placas e a espessura das placas.



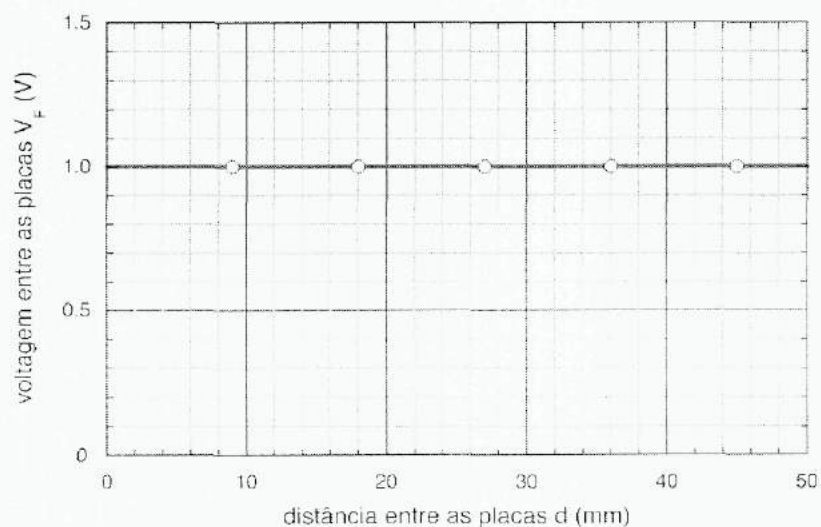
**Figura 10: Dimensões das placas utilizadas no estudo da fonte. Altura comum a todas:  $(4,0 \pm 0,1)$  cm. Largura: da esquerda para a direita  $(1,0 \pm 0,1)$  cm,  $(1,5 \pm 0,1)$  cm,  $(2,0 \pm 0,1)$  [em destaque na figura] cm e  $(4,0 \pm 0,1)$  cm.**

A figura 11 representa o estudo do comportamento da diferença de potencial no gerador, para os diferentes tamanhos (expressos pela largura) de placas, mantendo uma mesma distância entre elas.



**Figura 11: Gráfico da DDP em função da largura das placas**

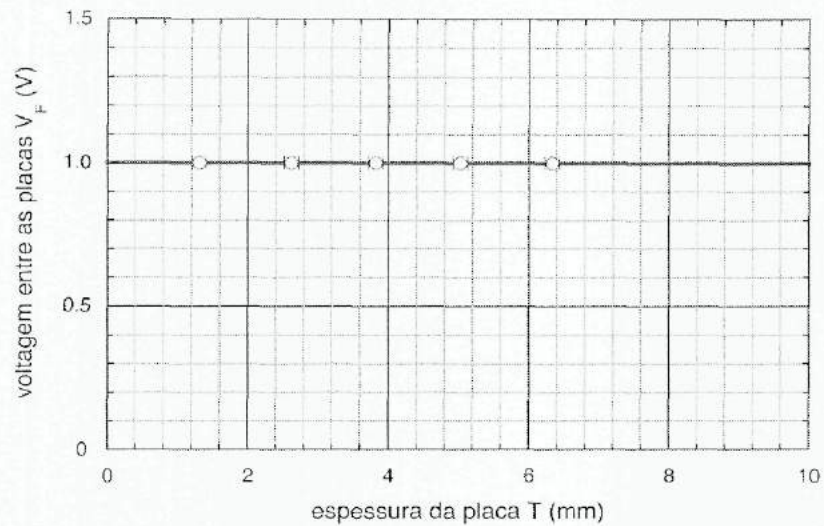
A figura 12 ilustra a influência da distância entre as placas no valor da diferença de potencial. Mantendo a placa de cobre fixa, deslocamos a placa de zinco sistematicamente a uma distância de  $(9 \pm 1)$  mm.



**Figura 12: Gráfico da DDP da fonte em função da distância entre as placas**



Por fim, estudamos o comportamento da diferença de potencial variando a espessura das placas. Para isso, unimos placas de mesmo tipo com as mesmas dimensões a fim de conseguirmos espessuras diferentes.

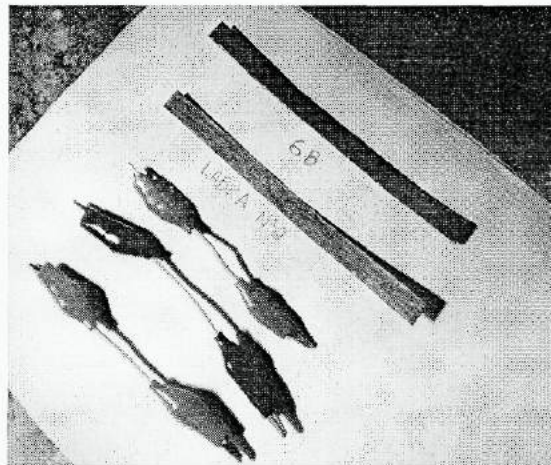


**Figura 13: Gráfico da DDP em função da espessura das placas**

Pelo comportamento dos gráficos, podemos dizer que a voltagem não varia com qualquer mudança nas dimensões das placas e também com a distância colocada entre elas. Encontramos sempre o mesmo valor de 1 Volt, para todas as situações analisadas.

## 5. O Resistor alternativo

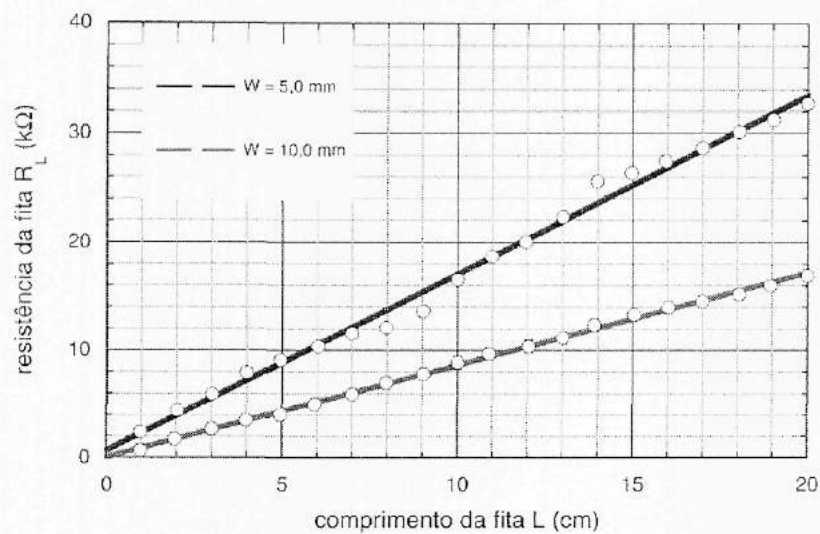
O resistor alternativo utilizado em nosso projeto segue uma proposta de trabalho que é utilizar como material resistivo uma faixa de papel pintada ou simplesmente riscada com grafite de lápis. O grafite de lápis é um material condutor, embora tenha uma resistividade alta se comparada a de outros elementos. O processo de construção é simples. Inicialmente, construímos o resistor pintando uma faixa retangular de papel ofício com lápis 6B sobre uma superfície rígida. A escolha do lápis 6B se deve ao fato de este possuir um tipo de grafite mais macio, que risca melhor o papel e deposita uma camada mais homogênea de grafite sobre o mesmo. Por comodidade, optamos por colar posteriormente na face oposta do papel riscado uma faixa de papel cartão de mesmas dimensões que este para dar mais firmeza ao material resistivo, tornando seu manuseio mais prático.



**Figura 14: um resistor pintado com lápis 6B, outro pintado com lápis comum e alguns conectores**

Após observar que o material proposto possui uma resistência elétrica, o próximo passo foi verificar como o valor da resistência elétrica varia em função do comprimento  $L$  e da largura de cada resistor. Para isto foi utilizado um resistor de  $(30,0 \pm 0,1)$  cm de comprimento e  $(1,0 \pm 0,1)$  cm de largura, que posteriormente é cortado ao meio, ao longo do seu comprimento, originando dois resistores de  $(30,0 \pm 0,1)$  cm de comprimento e  $(0,5 \pm 0,1)$  cm de largura cada.





**Figura 15: Gráfico da resistência em função do comprimento para dois resistores de mesmo comprimento, porém de larguras diferentes**

Calculamos os coeficientes angulares  $b_1$  e  $b_2$ , para a fita  $R_L$  respectivamente com larguras  $(0,5 \pm 0,1)$  cm e  $(1,0 \pm 0,1)$  cm:

$$b_1 = \frac{(33 \pm 1)k\Omega}{(20,0 \pm 0,5)cm} = (1,65 \pm 0,07)k\Omega/cm$$

$$b_2 = \frac{(17 \pm 1)k\Omega}{(20,0 \pm 0,5)cm} = (0,85 \pm 0,05)k\Omega/cm$$

Através da análise dos valores encontrados podemos observar que em cada resistor, o valor da resistência é proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional a sua área, representada pela variação da largura deste. A partir destas observações, concluímos que o material proposto possui as características necessárias para o estudo que pretendemos realizar. Estas são: a existência de uma resistência elétrica e a relação linear desta com as dimensões do resistor.

## 6. Estudo do circuito elétrico alternativo

### 6.1 Introdução

O estudo das características de um circuito elétrico alternativo será realizado através de dois experimentos. Em ambos, estudaremos o comportamento da DDP no resistor e na fonte em função do comprimento do resistor. Cada um desses experimentos utilizará um circuito elétrico diferente, porém com as mesmas características básicas.

Antes de montarmos os circuitos, o primeiro procedimento adotado é a tomada das medidas da DDP da fonte (que designaremos por  $V_{f0}$ ). Este é um valor importante, pois nossas futuras análises dependerão dele. A fonte que utilizaremos em nossos experimentos será composta por quatro limões. Com o auxílio de um multímetro digital, obtemos o seguinte valor para a fonte com quatro limões:

$$V_{f0} = (2,73 \pm 0,01) \text{ V} \quad (\text{v})$$

Na confecção do primeiro circuito, designado por Circuito 1, utilizaremos um resistor e uma fonte de tensão. O resistor que utilizaremos possui as seguintes dimensões:

$$(27,0 \pm 0,1) \text{ cm de comprimento}, \quad (\text{vi})$$

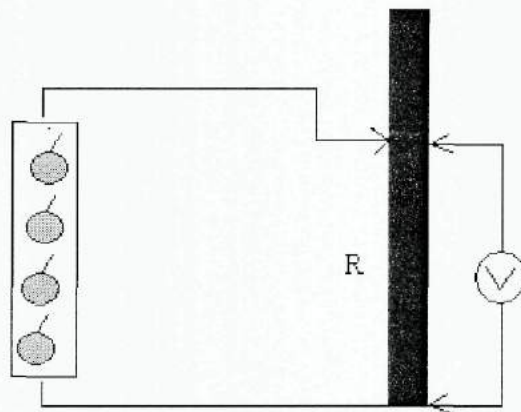
$$(0,5 \pm 0,1) \text{ cm de largura}. \quad (\text{vii})$$

Com o multímetro foi possível registrar o valor de resistência elétrica, medida fora do circuito:

$$(43 \pm 1) \text{ k}\Omega. \quad (\text{viii})$$

A fonte e o resistor são ligados por meio de conectores. O circuito do Experimento 1 segue o esquema representado pela figura 16.





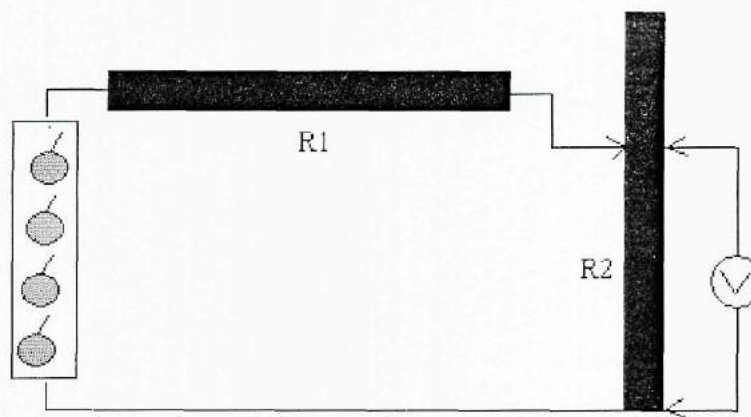
**Figura 16: esquema do circuito utilizado no Experimento 1**

O segundo circuito será construído utilizando-se dois resistores conectados em série e a mesma fonte de tensão do primeiro circuito. Os resistores utilizados possuem as mesmas dimensões do resistor utilizado no Experimento 1, entretanto, as resistências encontradas (medidas fora do circuito) foram:

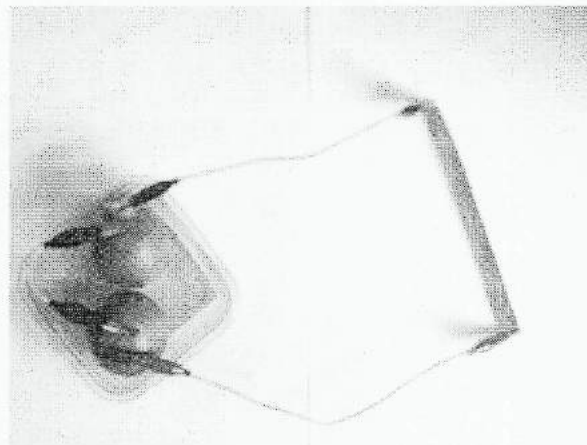
$$R1 = (273 \pm 1) \text{ k}\Omega \quad (\text{ix})$$

$$R2 = (500 \pm 1) \text{ k}\Omega \quad (\text{x})$$

O circuito utilizado no Experimento 2, construído com os materiais apresentados, segue o esquema representado na figura 17



**Figura 17: esquema do circuito utilizado no Experimento 2**



**Figura 18: circuito simples, composto de uma fonte com dois limões e um resistor de 30 cm**

Nos experimentos que realizamos, optamos por trabalhar com os comprimentos dos resistores, pela simplicidade na obtenção desta medida. Se tentássemos trabalhar com os valores de resistência elétrica, precisaríamos de mais um instrumento de medição. Para obtermos o comprimento dos resistores, precisamos apenas de uma régua, para graduar em centímetros o verso do corpo dos resistores.



Outro fato importante é que os dois experimentos são complementares entre si. Podemos dizer que o Experimento 2 é consequência do Experimento 1. Estas questões são abordadas brevemente nas seções 6.2 e 6.3 e analisadas de maneira mais detalhada na seção 6.4.

## **6.2 Experimento 1**

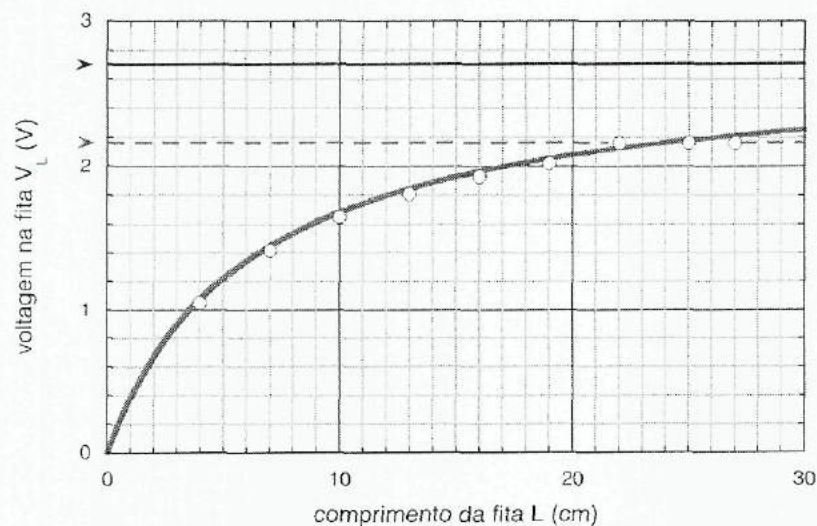
O objetivo do Experimento 1 é verificar o comportamento da DDP no material resistivo em função do seu comprimento. Obtemos diferentes valores para o comprimento do resistor apenas mudando a distância entre os conectores ligados a ele. O dispositivo funciona como um resistor variável. A medida da DDP no resistor é obtida de maneira direta com o uso de um multímetro digital. Este é conectado obedecendo ao comprimento selecionado para o resistor. Os dados obtidos no Experimento 1 são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: dados da DDP no resistor em função do comprimento deste**

Comprimento do resistor [ $(L \pm 0,1)$ cm]	DDP no resistor [ $(V_L \pm 0,01)$ V]
4,0	1,05
7,0	1,42
10,0	1,65
13,0	1,81
16,0	1,93
19,0	2,02
22,0	2,16
23,0	2,16
24,0	2,16
25,0	2,16
26,0	2,16
27,0	2,16

A figura 19 mostra o comportamento da DDP no resistor em função de comprimento do resistor e é construída com os dados da Tabela 1. A linha azul representa o valor da DDP da fonte  $V_{f0}$ , sem o resistor.





**Figura 19: gráfico da DDP no resistor em função do comprimento do resistor**

Observamos que o valor da DDP no resistor aumenta até alcançar um valor máximo constante. Este valor não é igual à  $V_{i0}$ . Tal comportamento nos leva aos seguintes questionamentos: por que a fonte não fornece ao resistor a mesma DDP que possui quando aberta ( $V_{i0}$ )? Por que o valor da DDP no resistor apresenta uma variação com o comprimento deste, tendendo a ser nula, quando este comprimento é muito pequeno?

Estes questionamentos oriundos do Experimento 1 nos sugerem a realização de um novo experimento. Na próxima seção é apresentado o Experimento 2.

### 6.3 Experimento 2

Em busca de respostas para as dúvidas surgidas com o Experimento 1, realizaremos um novo experimento, que será denominado Experimento 2. No primeiro experimento, para os menores comprimentos do resistor, o valor da DDP nestes é muito diferente do valor de  $V_{i0}$ . Nos maiores comprimentos, a DDP no resistor apresenta valor constante próximo de  $V_{i0}$ .

O Experimento 2 utilizará um circuito composto com a mesma fonte, porém, com resistores diferentes. Utilizando dois resistores, temos uma associação em série. Nosso estudo consistirá em repetir o procedimento experimental anterior, agora obtendo as medidas da DDP no segundo resistor ( $L_2$ ) em função do comprimento deste. Este experimento é feito inicialmente com o primeiro resistor ( $L_1$ ) fixo em seu maior comprimento.

Posteriormente, o experimento é repetido utilizando outros comprimentos no primeiro resistor. Adotamos tal procedimento por acreditar na influência deste comprimento no valor da DDP encontrada no segundo resistor. As Tabelas abaixo apresentam os valores encontrados com o Experimento 2.



**Tabela 2: Dados da tensão  $V_{L2}$  e do comprimento  $L_2$  da fita 2, para a fita 1 com comprimentos (a)  $L_1 = (6,8 \pm 0,1)$  cm, (b)  $L_1 = (13,5 \pm 0,1)$  cm, (c)  $L_1 = (20,0 \pm 0,1)$  cm e (d)  $L_1 = (27,0 \pm 0,1)$  cm.**

(a)		(b)	
$[(L_2 \pm 0,1) \text{ cm}]$	$[(V_{L2} \pm 0,01) \text{ V}]$	$[(L_2 \pm 0,1) \text{ cm}]$	$[(V_{L2} \pm 0,01) \text{ V}]$
4,0	1,31	4,0	0,94
7,0	1,65	7,0	1,27
10,0	1,84	10,0	1,48
13,0	1,96	13,0	1,62
16,0	2,05	16,0	1,73
19,0	2,11	19,0	1,81
22,0	2,18	22,0	1,91
23,0	2,18	23,0	1,91
24,0	2,18	24,0	1,91
25,0	2,18	25,0	1,91
26,0	2,18	26,0	1,91
27,0	2,18	27,0	1,91

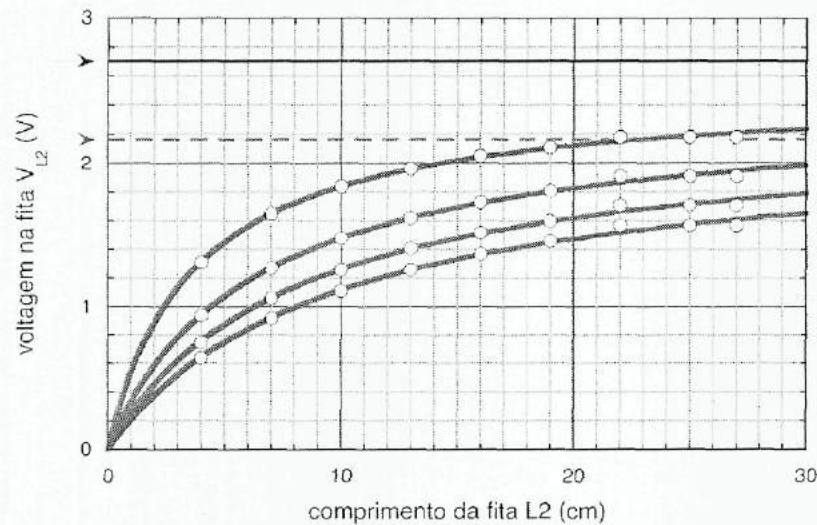
(c)

$[(L_2 \pm 0,1) \text{ cm}]$	$[(V_{L2} \pm 0,01) \text{ V}]$
4,0	0,75
7,0	1,06
10,0	1,26
13,0	1,41
16,0	1,52
19,0	1,60
22,0	1,71
23,0	1,71
24,0	1,71
25,0	1,71
26,0	1,71
27,0	1,71

(d)

$[(L_2 \pm 0,1) \text{ cm}]$	$[(V_{L2} \pm 0,01) \text{ V}]$
4,0	0,64
7,0	0,92
10,0	1,11
13,0	1,26
16,0	1,37
19,0	1,46
22,0	1,57
23,0	1,57
24,0	1,57
25,0	1,57
26,0	1,57
27,0	1,57

A figura 20 ilustra o comportamento das medidas da Tabela 2



**Figura 20: gráfico da DDP em L2 em função do comprimento do resistor L2, para os quatro comprimentos de L1**

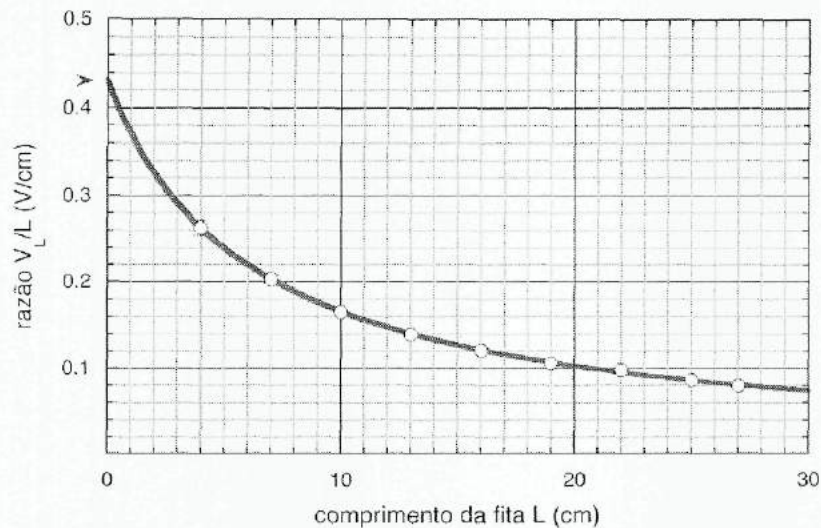
Podemos observar que as grandezas apresentam um comportamento similar ao observado no Experimento 1. No entanto, observamos que a diferença entre o valor máximo para a DDP no resistor L2 e  $V_{f0}$  (linha azul no gráfico), é menor conforme diminui o comprimento de L1.

#### 6.4 Análise dos experimentos

Nossa tarefa principal nesta análise será tentar descobrir a(s) causa(s) para a diferença encontrada entre o valor da DDP da fonte aberta e a DDP no resistor. Este comportamento foi observado nos dois experimentos.

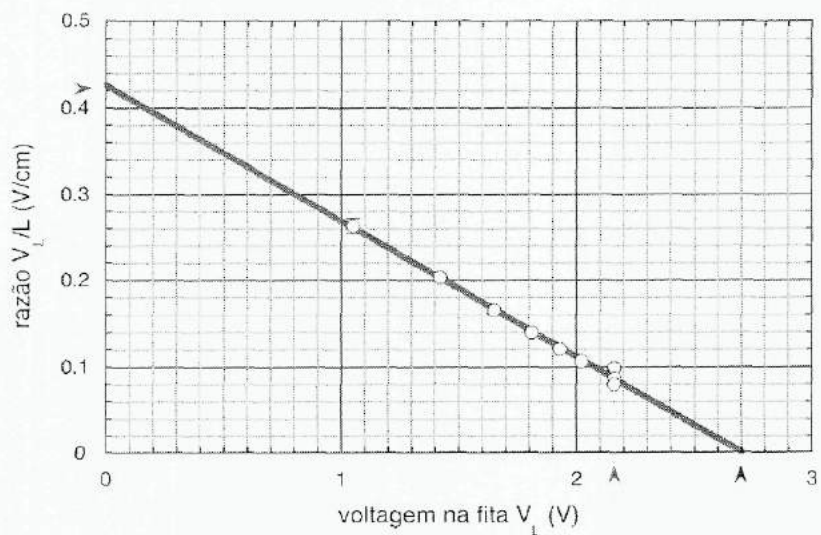
A curva obtida na figura 19 apresentou uma relação não linear entre DDP no resistor  $V_L$  e o comprimento do resistor  $L$ . Observamos que quanto maior  $L$ , maior é  $V_L$ . este comportamento nos sugere então, confrontar a razão entre  $V_L$  e  $L$  em função de uma delas – o comprimento  $L$  da fita por exemplo. A figura 21 ilustra tal comparação





**Figura 21:** razão  $V_L/L$  em função do comprimento da fita  $L_2$

Observamos que ainda não é possível definir qual é a relação algébrica mais simples para análise entre as duas grandezas. Continuamos nossa investigação, estudando o comportamento da razão  $V_L/L$  pela voltagem  $V_L$  na fita, este comportamento está representado no gráfico da figura 22.



**Figura 22:** razão  $V_L/L$  em função da DDP na fita  $V_{L2}$

Neste último gráfico, os dados se ajustam de forma linear. A reta ajustada é descrita pela equação  $y = a - b \cdot x$ . Para uma análise como a que propomos, é suficiente calcular a inclinação da reta de forma usual, por inspeção. A reta corta o eixo das ordenadas em  $a = 0,43 \pm 0,01$  V/cm e para o coeficiente angular podemos calcular

$$b = \frac{(0,43 \pm 0,01)V/cm}{(2,70 \pm 0,05)V} = (0,160 \pm 0,005) cm^{-1} \quad (xi)$$

Convencidos da relação linear apresentada no gráfico da figura 22, podemos escrever

$$\frac{V_L}{L} = a - b \cdot V_L \quad (xii)$$

e, deste modo, obtemos

$$\frac{V_L}{L} + b \cdot V_L = a \quad (xiii)$$

ou, ainda, que

$$b \cdot \frac{V_L}{L} \cdot \left( \frac{1}{b} + L \right) = a. \quad (xiv)$$

Assim:

$$\frac{V_L}{L} = \frac{\left( \frac{a}{b} \right)}{\left( \frac{1}{b} + L \right)}. \quad (xv)$$

A razão  $a/b$  é uma constante que possui dimensão de voltagem

$$\frac{a}{b} = (2,70 \pm 0,85) V. \quad (xvi)$$

Podemos observar que tal valor corresponde a  $V_{i0}$ . O termo  $1/b$  possui dimensão de comprimento:

$$\frac{1}{b} = (6,25 \pm 1,95) cm \quad (xvii)$$

Assim, podemos escrever que:

$$\frac{V_L}{L} = \frac{V_{f0}}{(L_1'' + L)} \quad (xviii)$$

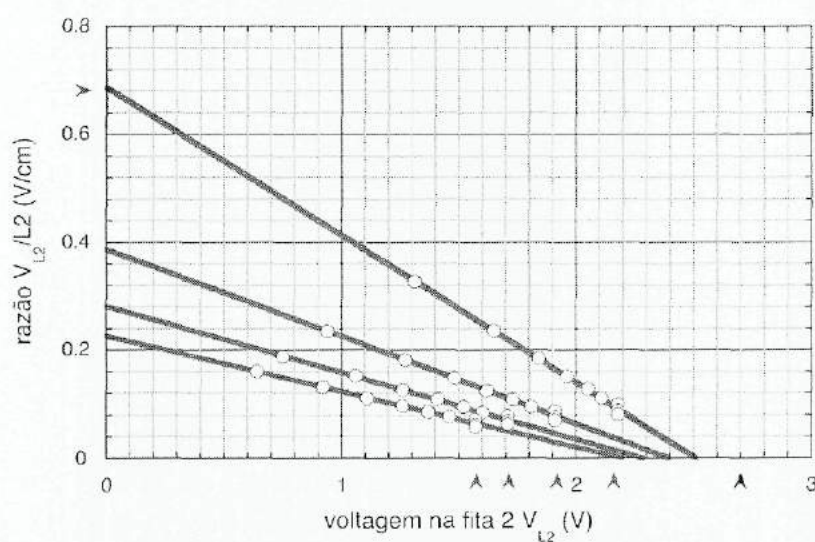
onde

$$\frac{a}{b} = V_{f0}, \quad (xix)$$

e

$$L_1'' = \frac{1}{b} \quad (xx)$$

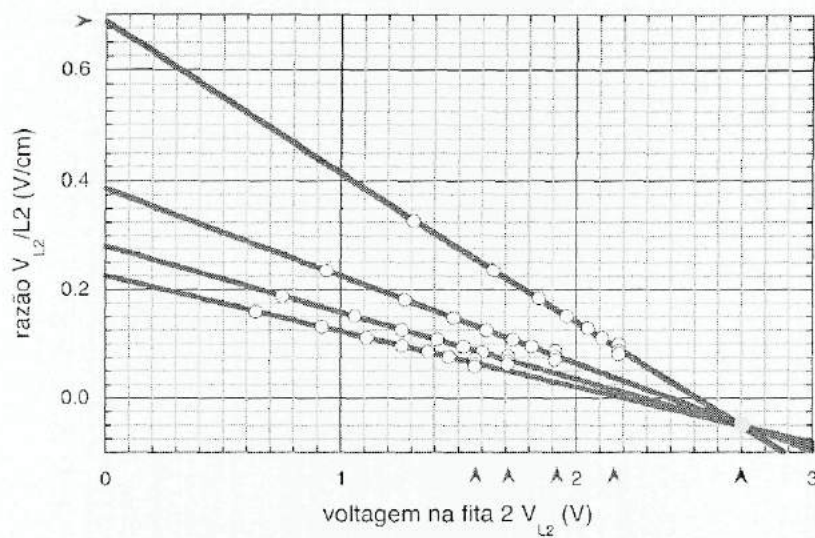
Ao realizarmos a mesma análise para o experimento 2, temos:



**Figura 23: razão  $V_{L2}/L_2$  em função da voltagem na fita 2  $V_{L2}$**

Se ajustarmos os eixos e prolongarmos as retas encontramos o gráfico da figura 24





**Figura 24: razão  $V_{L2}/L_2$  em função da DDP na fita 2. Aqui prolongamos a reta até conseguirmos visualizar o ponto onde as retas se interceptam.**

A partir deste gráfico podemos obter a série de coeficientes lineares, respectivamente para a fita 1 com os comprimentos :  $(6,8 \pm 0,1; 13,5 \pm 0,1; 20,0 \pm 0,1$  e  $27,0 \pm 0,1)$  cm

$$a = (0,68 \pm 0,01; 0,38 \pm 0,01; 0,28 \pm 0,01; 0,22 \pm 0,01) \text{ V/cm} \quad (\text{xxi})$$

E para os coeficientes angulares

$$b = (0,28 \pm 0,05; 0,15 \pm 0,05; 0,14 \pm 0,05; 0,10 \pm 0,05) \text{ cm}^{-1} \quad (\text{xxii})$$

Podemos também escrever a equação que descreve o comportamento das grandezas

$$\frac{V_{L2}}{L_2} = \frac{V_{f0}}{(L_2 + L_2)} \quad (\text{xxiii})$$

Onde

$$V_{f0} = \frac{a}{b} \quad (\text{xxiv})$$

$$L_2'' = \frac{1}{b} \quad (\text{xv})$$

Aqui  $L_2$  também apresenta dimensão de comprimento.

O fato é que no Experimento 1 (com  $L_1$ ) e no Experimento 2 (com  $L_2$ ) tal comprimento não está associado a nenhuma das fitas resistivas principais utilizadas nos dois circuitos. Também não pode ser atribuído aos conectores e nem aos fios condutores, pois estes apresentam alta condutividade.

Só nos resta especular que este comprimento resistivo esteja associado à própria fonte. O material do qual esta fonte é composta apresenta também uma resistência elétrica, característica destes materiais. O valor encontrado para este comprimento resistivo nos mostra que este não pode ser desprezado. Uma faixa resistiva de comprimento aproximadamente igual a 6,25 cm como por exemplo no Experimento 1, caracterizaria a existência de uma resistência elétrica interna à fonte da ordem de  $k\Omega$ . Tal valor não pode ser desprezado em análises como a que propomos, e explicaria o comportamento singular que encontramos para a DDP da fonte.

Chegamos então ao final da análise do circuito proposto com as seguintes conclusões:

- Nossa fonte pode ser caracterizada por possuir uma DDP máxima que pode fornecer ao circuito e depende do seu potencial químico;
- Esta DDP se divide entre as resistências do circuito, de modo proporcional ao valor destas.
- A fonte também pode ser caracterizada por possuir uma resistência interna. Esta resistência interna é a responsável por uma queda de tensão na própria fonte, que impede que toda a DDP que a fonte pode fornecer seja utilizada no circuito.
- O valor encontrado para esta resistência interna nos mostra que este não pode ser desprezado. De fato, se a resistência utilizada no circuito for da mesma ordem ou muito inferior a esta resistência, a fonte terá uma oscilação no valor que poderá prover ao circuito e este pode não funcionar.



## 7. Considerações Finais

A aula proposta, tendo como referência o material e a análise apresentados, demonstra ser uma poderosa ferramenta de auxílio aos professores. Ela pode ser capaz de influenciar na formação intelectual do aluno, abrindo novas oportunidades para o ensino de eletrodinâmica e mostrando que ainda há muito para se descobrir e se desenvolver em termos de material didático e aprendizado.

Os experimentos realizados mostraram-se de acordo com as exigências de um material didático diferenciado devido a vários fatores. Entre eles temos:

- a facilidade de aquisição e montagem do material necessário;
- fenômenos físicos que regem os circuitos elétricos podem ser apresentados para os alunos de uma forma simples, evitando grandes formalismos matemáticos;
- apresenta um assunto moderno e de muitas aplicações tecnológicas de uma forma simples e que possibilita a compreensão de todos;
- leva os alunos a um processo sequencial de descoberta dos conceitos;
- está de acordo com o sugerido pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio;

É extremamente importante que o aluno do Ensino Médio execute um experimento tecnicamente simples, porém rico em conceitos e aplicações tecnológicas. Com esta atitude contribuímos muito para desmistificar a idéia de conceitos físicos, que muitas vezes parecem surgir por magia.

A abordagem histórica envolvendo o fenômeno pode ser utilizada para despertar o interesse do aluno para com a disciplina, acabando com o estigma de “disciplina chata”.

Por fim, o material e a análise proposta têm uma riqueza de conteúdo e abordagens que quando bem trabalhados despertam a curiosidade do aluno para os fenômenos eletromagnéticos presentes em seu cotidiano. Entende-se assim que este possa ser considerado como mais uma contribuição para o profissional de ensino de física e que vai possibilitar uma visão mais integrada e contextualizada de Ensino.



## Referências

- (1) Swartling, Daniel J. and Morgan, Charlotte "Lemon Cells Revisited: The Lemon-Powered Calculator", *Journal of Chemical Education*, 75, 2, (1998), 181.
- (2) Filho, João B. R. et al. "Resistores de Papel e Grafite: Ensino Experimental de Eletricidade com Papel e Lápis", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20, 2, (2003), 228-236.
- (3) Shadmi, Y. e Wenham, E. J. "Teaching the electromotive force", *Physics Education*, 6, 3, (1971), 183-188.
- (4) Brasil, Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1998 and Brasil, Ministério da educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais – Ensino Médio. Brasília: SEMTEC/MEC, 2.
- (5) <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br>.
- (6) <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>.
- (7) [http://abyss.uoregon.edu/~js/21st\\_century\\_science/lectures/lec04.html](http://abyss.uoregon.edu/~js/21st_century_science/lectures/lec04.html).
- (8) <http://www.wikienergia.com>.
- (9) Tolentino, Mário e Filho, Romeu C. R. "O Bicentenário da Invenção da Pilha Elétrica", *Química Nova na Escola*, 11, (2000), 35-39.
- (10) [http://pt.wikipedia.org/wiki/Luigi\\_Galvani](http://pt.wikipedia.org/wiki/Luigi_Galvani).
- (11) <http://www.bohnen.com.br>.
- (12) Gillespie, Charles C. *Dicionário de Biografias Científicas*, tradução: Carlos Almeida Pereira, Rio de Janeiro, Contraponto, 2007, v. (Ohm).
- (13) [http://pt.wikipedia.org/wiki/Georg\\_Simon\\_Ohm](http://pt.wikipedia.org/wiki/Georg_Simon_Ohm).
- (14) Para uma discussão a respeito da forma como Ohm encontrou a equação citada a partir dos dados obtidos com o experimento, consultar:.

Silva, Danielli M. R. Desvendando a Lei de Ohm: buscando respostas na história, Trabalho de Final de curso de Licenciatura, Instituto de Física, UFRJ, 2009.